

DESCRIPTION LITHOLOGIQUE

DES

RÉCIFS DE ST.-PAUL

PAR

A. RENARD,

Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Belgique,
Membre de la Société belge de Microscopie.

Extrait des *Annales de la Société belge de Microscopie.*

BRUXELLES

LIBRAIRIE H. MANCEAUX,

IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE DE MÉDECINE DE BELGIQUE,
Rue des Trois-Têtes, 12 (Montagne de la Cour).

—
1882

DESCRIPTION LITHOLOGIQUE

DES

RÉCIFS DE SAINT-PAUL.

(Lat. 0° 53'. 56" N. — Long. 29°. 22'. 52". O.)

L'objet de ce travail est de donner la description lithologique des échantillons de roches recueillis dans l'île de Saint-Paul (Atlantique) par l'expédition du *Challenger*. Ces échantillons nombreux et bien choisis me furent remis par Sir Wyville Thomson pour les soumettre à un examen lithologique détaillé. Ils étaient accompagnés d'une série complète de lames minces pour l'étude au microscope, préparées au *Challenger Office* par les soins de M. J. Murray. On me donna en même temps les analyses des principaux échantillons faites à la demande de Sir Wyville Thomson par M. Brazier, professeur à l'université d'Aberdeen. Ces analyses sont insérées dans ce travail et désignées par la lettre [B] (1).

L'étude de ces récifs isolés au centre de l'Atlantique mérite à tous égards l'attention du géologue. L'isole-

(1) Après avoir terminé l'étude de ces roches j'ai voulu confirmer les conclusions auxquelles j'étais arrivé en faisant analyser un des échantillons dont je m'étais servi dans mes recherches. Mon ami le docteur L. Si-pöcz, chimiste de la ville de Carlsbad, voulut bien me prêter le concours de son talent si hautement apprécié. L'analyse que je dois à ce savant a été insérée dans le texte avec celles de M. le professeur Brazier.

ment de cet ilot, loin de toute terre, comme perdu au milieu de l'océan, a fait penser que les rochers de Saint-Paul étaient les dernières traces de vastes continents submergés. Dans l'hypothèse d'une Atlantide, l'île de Saint-Paul est un des restes des masses continentales qui existaient autrefois entre l'ancien et le nouveau monde, reliant les îles de l'Atlantique séparées aujourd'hui, et que des relations de faune et de flore avaient conduit certains naturalistes à considérer comme ayant autrefois formé un continent. En faisant revivre l'idée des Grecs et des Phéniciens sur l'Atlantide, on admettait, toujours en se fondant sur la distribution géographique des organismes, qu'il avait existé au nord de l'équateur des terres dont les îles de cette région étaient les derniers vestiges. On admettait aussi que plus près de l'équateur une grande surface continentale affleurait entre l'Amérique méridionale et l'Afrique (1). Mais, comme Sir Charles Lyell le fait justement observer (2), les spéculations et les théories des zoologistes et des botanistes pour expliquer la manière dont ces îles peuvent avoir été peuplées doivent nécessairement demeurer imparfaites aussi longtemps que nous ne possédons pas de données exactes sur leur structure et leur constitution géologique.

Or, les recherches des géologues tendent à établir que ces îles de l'Atlantique, considérées comme ayant été autrefois unies, sont essentiellement de nature volcanique ; et le savant que je viens de citer affirme que

(1) Voir BOUÉ, *Über die Rolle der Veränderungen des Unorganischen im grossen Maastabe in der Natur, Sitzung, der wien. Akad. der Wiss.*; 1866, pp. 12-14.

(2) LYELL, *Principles of Geology*, 11^{me} éd., vol. ii. p. 406.

nulle part à Madère et aux îles Canaries il n'a pu découvrir de traces d'abaissement, ou même d'émergence temporaire d'anciens continents.

Les récifs de Saint-Paul doivent-ils leur origine à l'action volcanique, ou doivent-ils être considérés comme roches schisto-cristallines? Telles sont les questions que soulève l'étude de ces roches. Elles sont d'autant plus difficiles à résoudre que nous n'avons pour nous guider que l'examen de quelques échantillons, et qu'il est impossible de faire entrer en considération les relations que la roche de Saint-Paul peut avoir avec des roches adjacentes. Ce qui augmente encore la difficulté du problème c'est que le type de roche que nous allons décrire se montre quelquefois avec les caractères des masses éruptives et dans d'autres cas avec ceux des schistes cristallins.

On a vu plus haut que dans l'hypothèse d'une Atlantide Saint-Paul est considéré comme ayant appartenu à ce continent (1). La position isolée de cet îlot, ainsi que l'aspect et les caractères lithologiques des roches qui le composent, sont de nature à lui prêter cette origine. A première vue, elles n'offrent que très peu d'analogie de structure et de composition minéralogique avec les produits volcaniques, qui forment avec les îles coralliennes presque toutes les petites îles océaniques. Darwin, auquel on doit tant d'observations importantes relativement à la formation des îles océaniques, frappé par les caractères spéciaux de ces récifs, refuse de croire qu'ils sont d'origine volcanique. Dans son *Voyage of a Naturalist* (2), il dit parlant de Saint-Paul : « C'est un

(1) BOUÉ, *loc. cit.* p. 14.

(2) DARWIN, *Voyage of a Naturalist*, p. 8.

« fait remarquable que toutes les petites îles du Pacifique, de l'océan Indien et de l'Atlantique soient volcaniques ou coralliennes. Je ne connais d'autre exception à cette loi que les Seychelles et ces petits récifs. La nature volcanique de ces îles océaniques est évidemment l'extension de la loi, l'effet de la même cause chimique ou mécanique par laquelle la grande majorité des volcans actifs sont situés sur les bords de la mer ou sur des îles au milieu de l'océan. » Darwin a exprimé ailleurs cette même opinion d'une manière formelle; il dit dans son ouvrage sur les îles volcaniques (1) « que Saint-Paul n'a point une origine volcanique et que cette particularité remarquable devrait à proprement parler exclure de ce livre la description de Saint-Paul. » Il y a des raisons de penser que les passages du naturaliste anglais que nous venons d'indiquer ont été le point de départ de l'interprétation qui tend à considérer les rochers de Saint-Paul comme ayant appartenu à une masse continentale abaissée sous la mer (2).

La composition minéralogique et la structure microscopique de cette roche n'est pas moins intéressante pour le lithologiste que son mode de formation pour le géologue. Comme on le verra elle est presque exclusivement composée d'olivine, on peut la considérer comme un des types les plus remarquables de roche péridotique (3).

Avant les recherches qui ont démontré l'existence de

(1) *Ibid.*, *Volcanic Islands*, p. 52.

(2) BOUÉ, *loc. cit.* p. 12.

(3) Ce n'est pas la première fois que l'on découvre une roche péridotique plus ou moins altérée dans les îles de l'Atlantique. DARWIN (*Volcanic Islands*, p. 18) indique qu'à St-Jago et à l'île de Quail (Cap Vert)

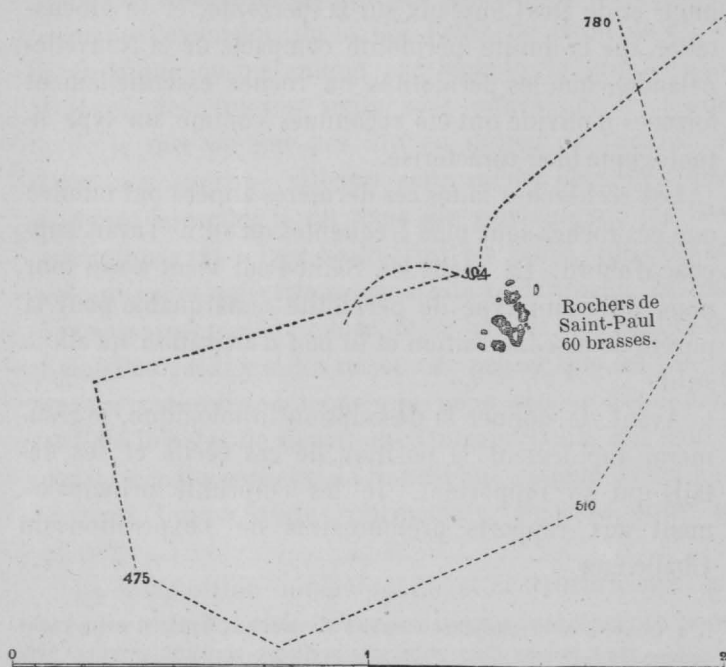
masses minérales essentiellement composées de péridot, on connaissait ce minéral dans les basaltes, les méla-phyres, et d'autres roches ignées. On l'avait observé aussi dans des calcaires saccharoïdes, des talc-schistes, etc. Mais c'est seulement depuis les observations de Damour et de Des Cloizeaux sur la lherzolite, et de Hochstetter sur la dunite (péridotite compacte de la Nouvelle-Zélande), que les péridotites ou roches essentiellement formées d'olivine ont été reconnues comme un type lithologique bien caractérisé.

Les recherches faites ces dernières années ont montré que ces roches sont plus fréquentes qu'on ne l'avait supposé d'abord. La roche de Saint-Paul vient à son tour nous offrir un type de péridotite remarquable pour la pureté de sa composition et le peu d'altération qu'elle a subi.

Avant de donner la description lithologique, je résumerai rapidement la position de ces récifs et les détails qui s'y rapportent. Je les emprunte principalement aux rapports préliminaires de l'expédition du Challenger.

il a trouvé des masses considérables de wacke. Il décrit cette roche comme étant formée d'une substance argileuse verdâtre, devenant onctueuse quand on la mouille. Lorsque cette matière est pure elle montre une belle teinte verte, elle est transparente sur les bords et présente quelquefois des traces indistinctes d'un clivage primitif. Il lui sembla d'abord que cette roche dérivait d'un minéral augitique décomposé. Cette interprétation était fondée sur les caractères pyrognostiques de la wacke et sur la présence de l'augite dans le basalte associé à la roche en question. Mais ayant examiné les diverses phases de décomposition de l'olivine du basalte, il observa qu'on pouvait trouver toutes les transitions entre ce minéral non altéré et la substance verte qu'il désigne sous le nom de wacke. Les réactions pyrognostiques servirent à confirmer cette interprétation. Ce qui frappa le plus Darwin, c'est qu'un minéral infusible donnait un produit de décomposition parfaitement fusible.

L'Ile de Saint-Paul est située presque sous l'équateur, par lat. $0^{\circ}55'$. N et long. $29^{\circ}22'$ O. Elle est à 540 milles environ des côtes de l'Amérique méridionale et à 350 milles de l'Ile Fernando Noronha, à peu près à mi-chemin entre l'Afrique et l'Amérique du Sud. (1)



Ces rochers forment cinq pics, groupés en quatre masses principales, séparées par trois petits canaux. Ils affectent une disposition en fer à cheval et renferment une baie. Au pied, ces récifs sont noirs, leurs sommets

(1) La petite carte représentant les Rochers de St-Paul est la copie de l'une de celles qui seront publiées dans les Rapports sur l'Expédition du Challenger. Les chiffres sur la ligne de parcours du navire indiquent la profondeur en brasses. L'échelle est en milles marins.

sont jaunâtres. Ils sont excessivement escarpés (1). On a visité Saint-Paul pendant le voyage du *Beagle*, en 1852, et Sir James Ross y aborda pendant le voyage de l'*Erebus*, en 1859. Enfin l'expédition du *Challenger* s'y arrêta le 23 août 1873. Ces récifs mesurent pas même un quart de mille d'une extrémité à l'autre. Ces dimensions si restreintes frappèrent tous les observateurs. Le point le plus élevé n'atteint que 60 pieds. Darwin dit : « ils s'élèvent à pic » du fond de la mer, et, sauf à l'ouest, on ne put sonder » même à une distance de moins d'un quart de mille » des récifs (2). »

La stérilité de ces roches est frappante, on n'y voit pas de plantes, pas même un lichen. Remarquons en passant que cette stérilité est comme un caractère des massifs péridotiques ou serpentineux. Darwin et Sir Wyville Thomson font observer que la faune de Saint-Paul est presque aussi pauvre que sa flore.

Darwin, parlant des caractères lithologiques de ces rochers, les décrit de la manière suivante : « ils sont » formés d'une roche que je n'ai jamais rencontrée ailleurs et que je ne puis caractériser par un nom. L'une » des variétés les plus fréquentes est très compacte, » pesante, noir-verdâtre, avec cassure anguleuse et vive, » assez dure pour rayer le verre. Quelques échantillons » ont une couleur verte, moins foncée, mais leur structure cristalline est mieux marquée, ils sont transparents sur les bords et fusibles en émail vert (3). » Il rapporte la roche, qui forme le rocher situé au nord,

(1) DARWIN, *Volcanic Islands*, p. 32.

(2) *Ibid.*

(3) SIR WYVILLE THOMSON *Voyage of the Challenger*, vol. ii, p. 106; MOSELEY, *Notes of a Naturalist on the Challenger*, chap. iii.

à une variété de *harsh stone*. Cette pierre se brise en fragments réguliers que l'on prendrait pour des blocs d'orthose altérée. Darwin signale aussi des veines de serpentine, qui traversent la roche en tous sens. Les explorateurs de l'expédition du *Challenger* ont, comme Darwin, classé la roche de Saint-Paul parmi les serpentines. Nous verrons bientôt qu'en la désignant ainsi, ils l'ont placée très près de la position qu'elle occupe dans la classification lithologique. Sir Wyville Thomson insiste sur la ressemblance qu'il y a entre cette roche et les serpentines des Cornouailles et d'Ayrshire; mais il fait observer cependant que par bien des caractères la roche de Saint-Paul se sépare de ces serpentines. Il ajoute qu'elle ne ressemble pas aux roches volcaniques modernes. J. Y. Buchanan (1) a constaté durant l'expédition du *Challenger* que la roche en question contient de la magnésie, de l'alumine, du peroxyde de fer, et que beaucoup d'échantillons donnent de l'eau dans le tube. Les naturalistes qui ont visité cette île ont attiré l'attention sur les rochers situés au sud. Ils sont recouverts par une substance qui leur donne un aspect brillant, lorsqu'on les voit à une certaine distance. Ce revêtement est dû en partie aux excréments d'une immense multitude d'oiseaux de mer, qui se réunissent sur ces rochers, et à une couche d'un enduit blanc assez dur et sur lequel nous aurons à revenir.

Ayant résumé sommairement les faits signalés par les naturalistes qui ont visité Saint-Paul, nous allons entrer dans la description détaillée de la roche. On remarquera, en lisant ce travail, que plusieurs des caractères

(1) Sir WYVILLE THOMSON, *Voyage of the Challenger*, vol. ii, p. 106.

(2) J. Y. BUCHANAN, *Proc. Roy. Soc.*, cvii. p. 615.

lithologiques, sur lesquels nous aurons à nous étendre, ont été déjà indiqués par les auteurs qui viennent d'être cités ; mais on ne pouvait les établir d'une manière définitive et complète que par un examen microscopique détaillé et par l'analyse chimique d'un certain nombre d'échantillons.

Un des caractères saillants de cette roche péridotique c'est qu'elle est très peu décomposée. On s'attendrait à ce qu'une roche formée d'un silicate facilement altérable présentât des traces profondes de décomposition, d'autant plus qu'elle est exposée d'une manière exceptionnelle aux agents d'altération les plus énergiques. Non seulement l'action des vagues, comme le fait remarquer Sir Wyville Thomson, s'y exerce avec une violence extraordinaire, mais l'influence des agents atmosphériques doit y être très puissante à cause des variations de température aussi grandes que brusques (1).

Le plus grand nombre des échantillons ne montrent pas de signes d'altération excepté le long des fissures. Les fragments détachés des échantillons sont frais et compacts ; ils ressemblent à première vue à un quartzite à grains fins tel que nous en montrent les terrains anciens.

A l'œil nu la roche massive non altérée apparaît parfaitement homogène ; elle diffère de toutes les roches péridotiques avec lesquelles je l'ai comparée ; elles ont toutes un grain moins fin que la péridotite de Saint-Paul ;

(1) On doit observer cependant que l'altérabilité des roches péridotiques n'est peut-être pas aussi grande qu'on l'a souvent avancé. Quand ces roches sont aussi compactes et aussi massives que celles de St-Paul, elles se décomposent assez difficilement. Cependant les fissures qui traversent cette péridotite et la font briser en fragments plus ou moins réguliers doivent avoir facilité l'action désagrégeante des vagues et réduit les dimensions primitives de ce massif.

sa couleur est gris noirâtre tirant sur le vert, quelquefois elle est noire. Les échantillons sont souvent recouverts d'une couche de vernis blanchâtre auquel nous avons fait allusion plus haut. A l'œil nu et à l'aide de la loupe on ne découvre aucun élément porphyrique; cependant on voit quelquefois briller sur les surfaces de cassure des particules noirâtres avec éclat métallique, qui n'ont pas plus de 0,5 mm. de diamètre. Ces grains ont l'éclat de la magnétite; mais comme on le verra, on doit les considérer comme du fer chromé. Les éclats de la roche sont transparents sur les bords avec teinte verdâtre. Les surfaces fraîches ont un éclat sub-vitreux ou résineux; les esquilles rougissent au chalumeau et sont infusibles. La roche est en partie soluble dans l'acide chlorhydrique comme le montrent les analyses qui suivent; sa dureté est inférieure à celle du feldspath, la rayure est verdâtre ou vert-grisâtre, la cassure est plane. Souvent les fragments sont angulaires à arêtes vives.

L'analyse I a été faite par le professeur Brazier; le fragment analysé était dur et compacte, très peu altéré, donnant une poudre verdâtre.

I [B].

Soluble dans HCl = 73,55	{	Perte au feu	0,50
		Oxyde de fer	traces
		Protoxyde de fer	9,56
		Sulfate de chaux	0,29
		Magnésie	51,43
		Silice	52,25
Insoluble dans HCl = 25,97	{	Alumine	0,90
		Oxyde de fer	3,40
		Chaux	1,51
		Magnésie	5,26
		Silice	14,90
			<hr/>
		100,00	

Nous faisons suivre les résultats d'une analyse de la même roche faite par le Dr Sipôcz, à l'Université de Vienne, au laboratoire du professeur E. Ludwig.

Le poids spécifique de la péridotite à 20°, 4 C. est de 3,287.

1° 1,0586 gr. de substance fusionnée avec les carbonates de potasse et de soude donna 0,0113 gr. d'eau (H_2O).

2° 1,0853 gr. de substance fusionnée avec les carbonates de potasse et de soude donna 0,4758 gr. de silice (SiO_2), 0,1061 gr. d'oxyde de fer (Fe_2O_3), 0,0124 gr. d'alumine (Al_2O_3), 0,0046 gr. d'oxyde de chrome (Cr_2O_3), 0,0014 gr. d'oxyde de manganèse (Mn_3O_4), 0,0056 gr. de protoxyde de nickel (NiO), 0,8186 gr. de chaux (CaO) et 1,3353 gr. de pyrophosphate de magnésie ($P_2O_7Mg_2$) répondant à 0,4801 gr. de magnésie (MgO).

3° 0,7140 gr. de substance fut traitée par l'acide fluorhydrique et sulfurique pour la détermination du protoxyde de fer (FeO); on employa 10,7 cc. de permanganate de potasse (1 cc. de permanganate répondant à 0,004547 gr. de fer ou à 0,085846 gr. de protoxyde de fer), ce qui répond à 0,1058 gr. de protoxyde de fer (FeO).

4° 1,0024 gr. de substance fut traitée par l'acide chlorhydrique, la silice (SiO_2) fut dissoute par le carbonate de soude (Na_2CO_3); le résidu obtenu après cette opération était de 1,2830 gr.; donc 28,30 % de la roche péridotique resta insoluble.

II.

Silice	45,84
Alumine	1,14
Oxyde de chrome	0,42
Protoxyde de fer	8,76
Protoxyde de manganèse	0,12
Protoxyde de nickel	0,51
Chaux	1,71
Magnésie	44,55
Eau	1,06
	<hr/> 101,89

En calculant les chiffres fournis par l'analyse précédente on trouve que la roche doit être composée d'environ 75 % d'olivine et 25 % d'enstatite.

L'examen microscopique confirme à son tour les résultats de l'examen macroscopique et des analyses. Les préparations taillées dans des échantillons peu altérés font voir que la roche est composée d'une masse fondamentale souvent exclusivement constituée de petits grains incolores d'olivine transparente de forme irrégulière et qui ne dépassent pas 0,1 mm. L'étude de ces lames minces décèle en outre la présence de l'enstatite, de l'actinolite et du fer chromé.

Dans les préparations que j'ai examinées, les grains d'olivine constituent essentiellement ce que l'on peut appeler la masse fondamentale de la roche, ils lui donnent généralement une structure microgranitoïde. Il est très rare de trouver que les granules de périclase affectent des dimensions assez grandes pour provoquer la structure microporphyrrique. On voit souvent aussi des petites sections vert-clair, répandues sporadiquement dans la masse fondamentale, et des grains de couleur brun-jau-nâtre, transparents et isotropes.

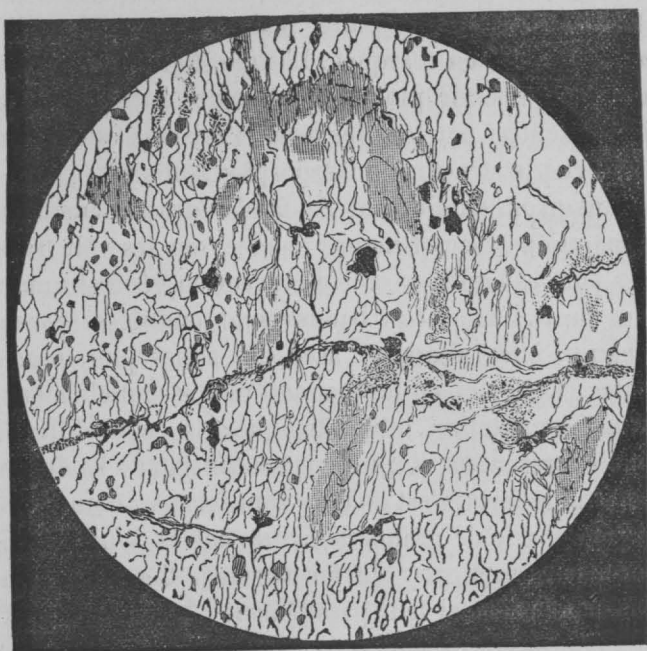


Fig. I.

Cette figure représente l'aspect général d'une section microscopique de la péridotite de St-Paul. Les grains incolores plus ou moins allongés formant la masse fondamentale sont de l'olivine. Les petites sections irrégulières noires, ou avec hachures verticales sont de la chromite. $\frac{1}{120}$

Dans les préparations microscopiques où l'on observe la structure microporphyrrique, les minéraux qui la provoquent sont elliptiques ou circulaires, ils ne possèdent jamais de contours cristallographiques. Cette structure microporphyrrique passe presque toujours à la structure bandée, qui se dessine lorsque certains éléments, interposés entre les bandes, prennent des dimensions plus grandes que les grains de la masse entourante. Dans quelques préparations, cette structure ne peut pas tou-

jours être observée bien visiblement, surtout lorsqu'on étudie en lumière ordinaire, mais quelques échantillons la possèdent bien marquée. L'explication de cette structure pourra servir plus tard à élucider quelques anomalies présentées par les plus grands cristaux qui donnent à la roche la structure microporphyrrique.

Lorsqu'on étudie sous de faibles grossissements des préparations avec structure bandée, on les voit traversées par des lignes parallèles, ayant en général une largeur de 0.1 mm. Ces bandes sont ondulées, presque opaques, elles alternent avec des zones plus transparentes. Celles-ci et les bandes ont essentiellement la même constitution minéralogique; la seule différence qu'elles présentent et que l'on peut constater à l'aide d'objectifs plus forts, c'est qu'elles sont formées d'une masse plus compacte de grains d'olivine, mêlés à une grande quantité de particules de fer chromé. Ces bandes conservent en général leur parallélisme : lorsqu'on observe un changement de direction, la déviation est la même pour toute la largeur de la zone. On constate le mieux cette structure lorsque de grandes sections de cristaux se trouvent dans la bande : elle se bifurque. La bande divisée se reconstitue en reprenant l'allure et l'épaisseur qu'elle avait d'abord. Il en résulte une disposition lenticulaire qui ressemble beaucoup à la structure dite gneissique, qui caractérise certains schistes cristallins. Les sections des minéraux ont leur axe allongé dans le sens de la direction des bandes, lorsqu'ils atteignent 2 ou 3 mm., elles sont arrondies ou elliptiques, terminées par des contours cristallographiques très vagues, et le minéral paraît se confondre sur les bords avec la masse fondamentale. Le professeur Bonney a observé la même structure

spécialement dans les roches serpentineuses de Lizard (1). Elle peut être provoquée par des causes variées, et nous reviendrons plus loin sur ce point.

Les sections microscopiques sont traversées en tous sens par de nombreuses fissures, indiquées par des lignes noires qui s'intersectent sous des angles plus ou moins constants, et divisent la préparation en plages rhomboïdales (2). Ces fissures n'ont guère plus de 0.1 mm. de largeur, quelquefois elles sont remplies d'une matière vert-jaunâtre, souvent elles apparaissent comme de simples traits noirs. Les roches de ce type présentent d'ailleurs fréquemment des fissures analogues. Un grand nombre de préparations microscopiques sont recouvertes comme d'un réseau de lignes produites par ces joints qui sont souvent tapissés de granules noirâtres. Lorsque ces solutions de continuité sont bien marquées, la pâte s'égraine sur les bords de la fissure. Lorsqu'elles sont très larges, elles sont souvent remplies d'une substance serpentineuse jaunâtre et de grains noirs opaques.

Voyons maintenant la description détaillée de chacune des espèces minérales qui constituent la roche. Comme nous l'avons dit, l'examen microscopique montre que la masse fondamentale est exclusivement composée de péridot en grain. Si l'on examine des sections taillées dans des échantillons compacts, avec un grossissement d'environ 200 diamètres, on découvre que la pâte est formée par une aggrégation de granules péridotiques, à contours ir-

(1) BONNEY, *On the Serpentine and the Associated Rocks of the Lizard District*, p. 920.

(2) Ces joints réguliers, ressemblant à des lignes de clivage, peuvent avoir induit Darwin en erreur, lorsqu'il décrit certains échantillons comme des fragments de feldspath altéré. On voit à l'œil nu ces cassures régulières sur un grand nombre d'échantillons.

réguliers, quelquefois légèrement allongés, quelquefois si intimement soudés qu'ils semblent former une masse homogène. Ces grains, beaucoup plus petits que ceux de la dunite, sont tout-à-fait incolores et transparents, leur surface est légèrement rugueuse, comme le sont d'ordinaire les sections de péridot. On voit à la lumière polarisée que ces granules sont parfaitement individualisés et présentent la polarisation d'agrégat, chaque particule de péridot se détachant avec les teintes brillantes caractéristiques de cette espèce minérale.

Outre ces grains microscopiques constituant la pâte, on trouve dans la masse fondamentale des sections de ce minéral dont le diamètre est d'environ $0,5^{\text{mm}}$ et qui provoquent la structure microporphyrique. Ces granules sont arrondis ou ellipsoïdaux, jamais ils n'offrent de contours cristallographiques. En lumière polarisée ces grandes sections de péridot revêtent des teintes brillantes, elles contiennent des inclusions qui sont peut-être des vacuoles avec liquide. Elles sont souvent traversées par des fissures et dans quelques cas on y distingue des traits parallèles répondant au clivage suivant le brachypinacoïde; mais jamais les lignes marquant les clivages ne sont pour l'olivine aussi distinctes ni aussi nombreuses que celles des sections d'enstatite dont nous parlerons tout à l'heure. Souvent cette première direction de clivage est traversée à angle droit par une autre série de lignes qui répondent à l'orientation du clivage macrodiagonal, ce clivage est toujours faiblement indiqué. Il arrive que pour bon nombre de sections on n'observe aucune trace de clivage. Lorsque les clivages sont bien marqués, et que l'on peut alors rechercher les valeurs des extinctions à l'aide de l'appar-

reil de polarisation, on trouve que les sections plus ou moins réticulées possèdent les propriétés optiques des cristaux du système prismatique. Quelquefois les grandes sections de péridot sont formées par l'agglomération d'un grand nombre de petits granules, qui présentent une mosaïque brillante avec les prismes de Nicol. On observe souvent ces sections lorsque la masse fondamentale est composée de très petites sections et que la roche possède la structure bandée.

Le minéral le plus fréquent après le péridot est le fer chromé. On en voit briller des grains sur les surfaces polies de la roche lorsqu'on l'examine à l'œil nu ou à la loupe. Ils n'ont pas plus de 0,5 mm., mais d'ordinaire ils ont de 0,1 mm. à 0,05 mm. Ces sections de chromite sont opaques à moins qu'elles n'aient été très amincies par le polissage. Lorsqu'elles sont transparentes leur couleur est brun marron, rarement elles ont une teinte verdâtre et ressemblent beaucoup à des lamelles microscopiques de biotite. A première vue on pourrait les considérer comme étant ce minéral ou même la hornblende, mais un examen attentif n'y fait découvrir ni structure lamellaire, ni clivage, ni dichroscopisme, et toutes ces sections restent éteintes pour une rotation complète entre les prismes de nicol croisés. Ce caractère optique démontre que le minéral en question appartient au système cubique. Les contours irréguliers de ces sections pourraient à vrai dire faire douter si on doit en réalité les rapporter à ce système cristallin, car au lieu d'être limitées par des formes rappelant celle des minéraux cubiques, elles s'offrent souvent sous la forme de fuseau, ou de bâtonnets allongés s'amincissant aux deux extrémités, avec leur grand axe aligné dans la direction de

la structure bandée. Cette forme allongée et cette orientation des particules de chromite dans la roche de Saint-Paul rappellent vivement ce que l'on voit pour les cristaux de fer magnétique, dans les schistes aimantifères de Deville, dans les Ardennes françaises. Cette élongation des grains de chromite, qui semble si peu en rapport avec les formes du système cristallin de la chromite, est une anomalie que l'on rencontre souvent pour les minéraux du système cubique : la cuprite, entre autres, offre des exemples frappants de ce que nous venons de dire.

Dans les grandes sections de chromite on peut voir des fissures dont la direction semblerait correspondre à celle du clivage cubique; mais ce ne sont pas autre chose que des points microscopiques communs à la masse fondamentale et aux cristaux de fer chromé, on peut les voir traversant ceux-ci aller se poursuivre dans la pâte entourante. La chromite renferme ici des enclaves noirâtres qui paraissent du fer magnétique : ces inclusions font que les granules de fer chromé sont attirables à l'aimant. Si l'on pulvérise un fragment de la roche et que l'on examine au microscope les particules extraites à l'aide du barreau aimanté, on voit qu'elles sont formées très souvent d'un nucleus opaque et noir, entouré d'une zone transparente brun jaunâtre et ressemblant tout à fait aux sections microscopiques de chromite.

Ce minéral est-il de la chromite ou doit-il être considéré comme de la picotite? C'est comme picotite que l'on a déterminé généralement jusqu'ici les grains noirs presque toujours associés à l'olivine. Faisons remarquer que ces deux espèces minérales ont de grandes analogies

dans leurs caractères microscopiques, et que ces relations entre leurs propriétés physiques montrent parfaitement celles qui les unissent au point de vue de la composition chimique. On sait que la composition chimique de la picotite trouvée dans les lherzolites et autres roches péridotiques, ainsi que dans les roches serpentineuses, se rapproche beaucoup de la composition du fer chromé.

La picotite de la dunite, désignée par Petersen sous le nom de chrompicotite, contient 56 pour cent et plus d'oxyde de chrome et seulement 12 pour cent d'alumine, 14 pour cent de magnésie et 18 pour cent de protoxyde de fer. On trouve la même proportion dans un grand nombre de chromites. Celle de Freudenbach par exemple, analysée par K. von Hauer, donna 49 à 52 pour cent d'oxyde de chrome, 10 à 12 pour cent d'alumine, 18 à 21 pour cent de magnésie et de 4 à 6 pour cent de silice. On voit que la différence entre la picotite, la chrompicotite et la chromite n'est pas bien considérable, ils ont une formule, chimique commune peut-on dire, ils cristallisent dans le même système, et comme je vais le montrer les sections microscopiques de picotite ont les mêmes caractères que celles de chromite.

On a admis, pour différencier ces deux minéraux au microscope, que des lames minces de picotite deviennent transparentes par le polissage tandis que celles de chromite demeurent toujours opaques. Cette distinction est due à Fischer, qui dans l'étude qu'il fit de la chromite de Cassin, département du Var, n'avait pas trouvé de sections transparentes de ce minéral (1).

(1) ZIRKEL, *Mikroskopische Beschaffenheit*, etc., p. 246 ; Rosenbusch, *Mikroskopische Physiographie der Mineralien*, etc., vol. I, pp. 159, 160.

Cependant dans un travail postérieur (1) revenant sur le même sujet, ce savant fait remarquer que des grains de chromite examinés sous un grossissement de 1080 diamètres sont translucides et même transparents, avec teinte rougeâtre ou rouge. Depuis cette seconde notice de Fischer, Dathe (2) a montré que la transparence de la chromite ne dépendait ni de la petitesse des sections, ni de la force des objectifs. D'après Dathe, des fragments de chromite de Baltimore, triturés en poudre assez grossière et examinés sous des grossissements de 90 et même de 20 diamètres, se montrent parfaitement transparents et isotropes. J'ai comparé les sections des préparations de la péridotite de Saint-Paul, que je considère comme des grains de chromite, avec de la poudre obtenue par trituration d'un échantillon de fer chromé de Kisnikeff dans les Monts Ourals. Ces particules montrent, sous un grossissement de 80 diamètres, les mêmes caractères que la chromite de Saint-Paul. J'ai trouvé que ce minéral devient transparent dès que les grains atteignent moins de 0,1 mm. d'épaisseur. La chromite triturée vue sous le microscope ressemble beaucoup pour l'aspect et les propriétés physiques à de l'obsidienne brunâtre.

Après ce qui vient d'être dit je ne vois pas qu'il y ait lieu de séparer la picotite et la chromite en s'appuyant sur les seuls caractères que peut fournir l'examen microscopique. En étudiant une lame mince taillée d'un échantillon de dunite type, que M. le professeur Maske-

(1) DATHE, *Olivinfels, Serpentine und Eklogite des sächsischen Granulitgebirges*, *Neues Jahrbuch*, etc., 1876, p. 247.

(2) FISCHER, *Kritische mikrosk. mineralogische Studien*, II, *Fortsetzung*, 1875, p. 44.

lyne a eu l'obligeance de mettre à ma disposition, j'ai pu constater que la chrompicotite de cette roche possède essentiellement les mêmes propriétés caractéristiques que la chromite de Saint-Paul. La seule différence consiste en ce que les grains de fer chromé de la dunite ont des contours plus réguliers que la chromite de la roche de Saint-Paul. Quant à la présence du chrome, on peut la démontrer facilement par les réactions pyrognostiques et M. Sipöcz en a déterminé la teneur dans l'analyse citée plus haut.

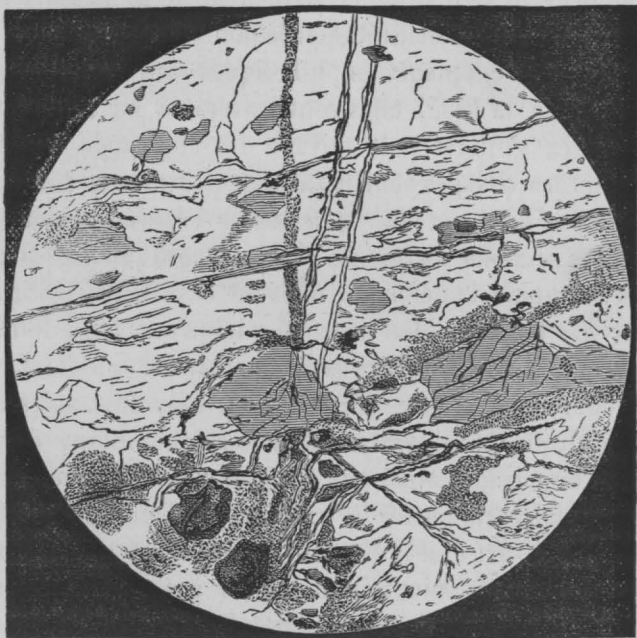


FIG. 2.

La figure représente une lame mince où se montre la structure microporphyrrique. La masse incolore fondamentale est du péridot. Les grandes sections striées horizontalement sont de l'actinolite. Celle à gauche du dessin montre les clivages de 124° . Les granules noirs et les plages pointillées sont du fer chromé $\frac{1}{120}$

Parmi les minéraux qui jouent un rôle secondaire dans la roche de Saint-Paul, soit qu'ils n'apparaissent que rarement ou qu'ils ne se montrent avec une certaine constance que dans certains échantillons, on peut signaler une variété d'amphibole et un pyroxène rhombique.

La substance que nous rapportons à un minéral amphibolique présente des sections verdâtres ou incolores ; ses contours sont vagues, elle se fond dans la masse entourante dont elle se distingue à peine par la faiblesse de sa teinte. Toutefois les sections même les plus incolores peuvent se distinguer facilement de la masse fondamentale, lorsqu'on les étudie à la lumière polarisée. Quelques-unes de ces plages amphiboliques sont des sections parallèles à la base, elles sont traversées par un réseau de lignes s'intersectant suivant des angles de $124^{\circ}3'$. Souvent les clivages sont nettement marqués et donnent un moyen bien sûr pour déterminer l'espèce minérale. D'autres sections du même minéral sont allongées ou plus ou moins lamellaires, mais ce clivage prismatique n'est pas toujours bien marqué quoiqu'on puisse le découvrir à l'aide de forts grossissements. En orientant les sections, on en trouve qui éteignent sous des angles de 15° environ. Ce minéral est donc clinorhombique et les angles de clivage, ainsi que ses propriétés optiques doivent le faire rapporter à une variété d'amphibole. La structure fibreuse et la couleur que revêtent quelquefois ces sections pourraient faire penser à l'ouralite ; mais je n'ai pu découvrir nulle part dans les plaques des preuves qu'elles dérivent de cristaux de pyroxène augite. Si c'est de l'ouralite, la paramorphose est complète ; dans tous les échantillons que j'ai examinés, nulle part je n'ai pu constater des restes d'augite. Ce qui rend en-

core cette interprétation plus incertaine, c'est que les contours des plages sont très vagues et qu'elles ne montrent jamais des angles que l'on pourrait rapporter à un pyroxène clinorhombique. Ces sections, grâce à leur coloration peu intense, sont bien faiblement microscopiques.

La présence d'un minéral amphibolique, dans une roche péridotique, n'est pas un fait isolé ; il a été déjà constaté par Tschermak, dans les éclogites qui accompagnent les granulites de la Basse-Autriche. Ce savant rapporte cette amphibole à la smaragdite. Il trouva en outre de la hornblende dans des roches à olivine du Groënland. L'échantillon de Simmetak, que possède le Cabinet de minéralogie de Vienne, est un agrégat d'olivine, de hornblende, de bronzite et de biotite. Si le minéral amphibolique, dont nous parlons, était plus fréquent dans la péridotite de Saint-Paul, on pourrait rapprocher cette roche de celle de Varolo où Stelzner signala de l'olivine, de la bronzite et de la hornblende (1).

Je rapporte ces sections d'amphibole à l'actinolite ; elles en possèdent les propriétés les plus essentielles (2). Quelques plages ne les montrent pas d'une manière caractéristique, car elles n'offrent pas de traces de clivage et ressemblent à un produit de décomposition chloriteux. Mais, même lorsqu'elles paraissent ainsi altérées, les propriétés optiques sont encore les mêmes que dans les sections où la décomposition ne se montre pas. On voit en outre dans toutes les sections de ce miné-

(1) STELZNER, *Zeitschrift d. d. g. Gesell.*, 1876, p. 625.

(2) Quelques préparations des roches de la Grèce, décrites par Becke sous le nom de roches serpentineuses péridotiques, nous ont montré le même minéral amphibolique, que cet auteur rapporte aussi à l'actinolite (BECKE, *Gesteine von Griechenland*, Tschermak, *Min. Mitth.*, 1878 et 1879)

ral des inclusions d'une nature spéciale, orientées suivant l'axe cristallographique principal. Ces inclusions microscopiques sont probablement des microlithes incolores, très allongés : leur axe principal est parallèle à l'axe vertical du cristal qui les renferme. Ils sont souvent opaques sur une partie de leur longueur. Quelques-unes de ces enclaves apparaissent comme des cylindres creux, dont l'intérieur serait tapissé de grains noirs. J'avoue qu'il est assez difficile de se prononcer sur leur nature. Si ces enclaves étaient simplement des inclusions gazeuses ou liquides, je les comparerais volontiers à celles signalées par Dathe (1) dans les enstatites des roches péridotiques de Saxe, et par Wiegand dans la bronzite de Starckenbach (2). Elles atteignent rarement 0.008 mm. de largeur et 0.04 c. de longueur. Zirkel (3) a observé des enclaves à peu près semblables et orientées de la même manière dans la hornblende de certains granites et de quelques diorites. J'ai remarqué que l'amphibole est plus abondante dans la section où la masse fondamentale est à grains fins, et où les grandes sections de péridot sont assez rares.

Les sections ellipsoïdales assez grandes, qui furent

(1) DATHE, *Neues Jahrbuch*, etc. *Loc. cit.*, p. 255.

(2) WIEGAND, *Tschermak, Min. Mitth.*, 1875, III, p. 195.

(3) ZIRKEL, *Mikroskopische Beschaff.*, p. 104. ROSENBUSCH, *Massige Gesteine*, p. 261, a fait la même observation pour quelques diorites renfermant de grands cristaux de hornblende. Il découvrit dans ce minéral des grains brunâtres transparents ou de petits prismes assez semblables à ceux décrits tout à l'heure. Il en signale d'autres disposés suivant la base du cristal. Il ne croit pas que ces enclaves aient été formées au moment de la cristallisation du minéral; mais elles sont dues, d'après lui, à une action postérieure. Ce qui l'engage à admettre cette interprétation, c'est que les cristaux de hornblende renfermant les enclaves étaient plus fibreux et de couleur moins foncée que ceux qui n'avaient pas d'inclusions.

mentionnées plus haut comme plus fréquentes dans les préparations où se montre la structure bandée, doivent être rapportées surtout à l'enstatite (1). Elles n'ont jamais de contours cristallographiques; elles sont incolores ou légèrement vert jaunâtre. Leur structure est lamello-fibreuse, les lamelles conservent leur parallélisme sur toute l'étendue de section; ces lamelles sont souvent droites, sauf quelques cas exceptionnels, dont il sera question tout à l'heure. Ce minéral se distingue de l'hypersthène par l'absence des inclusions que l'on considère comme distinctives pour cette espèce (2) et par son manque de dichroïsme. On distingue les lamelles en lumière ordinaire; mais elles apparaissent beaucoup mieux en lumière polarisée, et l'on observe alors que ces cristaux sont polysynthétiques. Ils offrent un aspect qui rappelle beaucoup les sections de feldspaths tricliniques. Ces lamelles sont parallèles au macropinacoïde. Si elles sont placées de manière à ce que suivant la longueur, elles coïncident avec les fils du réticule, une série alternante s'éteint, tandis que d'autres, moins nombreuses, et sensiblement moins larges, ne s'éteignent que pour une rotation de 40° environ. On est donc amené à considérer ces cristaux polysynthétiques comme étant composés

(1) Je n'attache pas une valeur spécifique au mot enstatite, dont je me sers dans ce passage. La bronzite et l'enstatite montrent plus de différences au point de vue macroscopique, qu'ils ne le font dans les lames taillées où un cristal de bronzite peut devenir incolore, vu la minceur à laquelle il a été réduit par le polissage.

(2) Peut-être devra-t-on attacher désormais moins d'importance à la présence de ces enclaves pour déterminer l'hypersthène ou la diallage. Kosman a admis que ces inclusions étaient de formation secondaire (*Neues Jahrbuch*, 1869, p. 535). Trippke, dans un travail plus récent (*Neues Jahrbuch*, 1878, p. 676) reprend la même manière de voir. Si cette interprétation est la vraie, la diagnose microscopique de l'augite et de la diallage n'en deviendra que plus difficile.

de lamelles d'un pyroxène rhombique, entre lesquelles en sont intercalées d'autres, qu'il faut rapporter à un pyroxène clinorhombique. Sauf que celles-ci sont généralement moins larges que les premières, on ne peut les distinguer en lumière ordinaire; elles ont la même teinte et possèdent toutes un dichroïsme très faible.

On connaît des associations de diallage avec un pyroxène rhombique dans les roches de Volpersdorf, de Hausdorf et d'Elfdalen (1). L'enstatite de Harzbourg, et l'hypersthène des norites (2) montrent la même structure polysynthétique, lorsqu'on les étudie avec les prismes de Nicol. Trippke (3) a découvert récemment des associations analogues de diallage et d'enstatite dans la roche péridotique de Grötizburg. Une section d'enstatite de cette localité, taillée parallèlement au brachypinacoïde, montre des lamelles dont les unes s'éteignent entre nicols croisés lorsqu'elles coïncident suivant la longueur avec les fils du réticule; tandis que d'autres n'éteignent que pour une rotation d'environ 58° . Des sections parallèles au macropinacoïde s'éteignent parallèlement et perpendiculairement à l'axe cristallographique principal. J'ai pu voir dans les préparations des roches péridotiques serpentineuses de l'Eubée, décrites par F. Becke, des sections offrant à leur tour des mâcles polysynthétiques semblables à celles que nous décrivons.

Dans les lames minces à grands cristaux d'enstatite on trouve aussi des grains d'olivine d'assez grande dimension. Ils sont elliptiques comme les sections pyroxéniques, dont ils diffèrent d'ailleurs en bien des points,

(1) ROSENBUSCH, *Massige Gesteine*, p. 465.

(2) ROSENBUSCH, *Massige Gesteine*, p. 478.

(3) TRIPPKE, *Neues Jahrbuch*, etc., 1878, p. 675.

surtout parce que la structure lamellaire fait complètement défaut. Ils contiennent en outre de nombreuses enclaves, qui paraissent des vacuoles avec liquide, elles sont alignées ou réparties irrégulièrement dans la section. Je n'ai jamais noté ces inclusions dans l'enstatite.

Après avoir décrit les caractères distinctifs généraux de chacun des minéraux qui constituent cette roche, examinons en détail quelques-unes des particularités que nous montrent les sections de péridot et surtout celles d'enstatite. Nous nous acheminerons ainsi vers la question relative à l'origine de la roche envisagée au point de vue des données fournies par la microstructure. Nous avons à examiner si certaines déformations des sections d'olivine et d'enstatite doivent être interprétées comme produites par l'action du magma igné en mouvement (*structure fluidale*) ; ou si les formes plus ou moins anormales de ces sections sont analogues à ce que l'on observe dans les schistes cristallins. Si l'on pouvait admettre la première interprétation, celle de la structure fluidale, elle fournirait un argument d'une force incontestable pour prouver l'origine ignée des roches de Saint-Paul. Il y a tant de points de ressemblance entre la structure dont nous avons à parler et si souvent constatée dans les roches éruptives qu'on pourrait à première vue être porté à les identifier.

Dans certaines préparations des roches de Saint-Paul, spécialement dans celles à structure bandée, les grandes sections d'olivine et d'enstatite sont alignées suivant la direction des bandes. On dirait voir des cristaux qui nageaient autrefois dans une masse fluide, et qui auraient été orientés et entraînés par le courant. Ce qui pourrait encore appuyer cette interprétation c'est que sur les bords

ces cristaux semblent se fondre insensiblement dans la masse entourante.

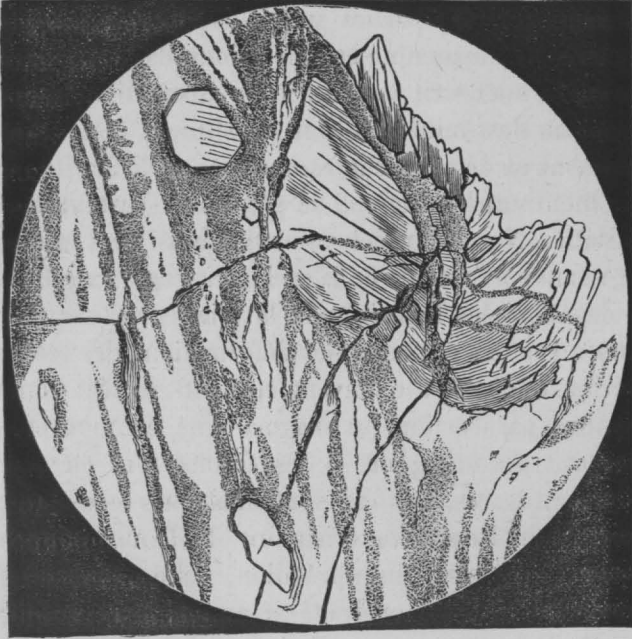


FIG. 3.

Cette figure représente une section de la péridotite avec structure bandée. La masse incolore est de l'olivine; les bandes sont produites par l'étirement des granules péridotiques auxquels viennent se mêler de nombreuses particules de fer chromé, représentées par un pointillée noir. La grande section courbée et brisée, vers le haut à droite du dessin, est celle d'un cristal d'enstatite avec lamelles polysynthétiques décrit pp. 28 et 29. $\frac{1}{60}$

La figure 3 montre des particularités plus remarquables. Le grand cristal d'enstatite représenté vers le haut à droite est fracturé, les fragments sont déplacés dans le sens des bandes, la section est repliée sur elle-même. On dirait qu'il a été comme ramolli en partie et qu'il gisait avec son grand axe perpendiculairement à la

direction d'un courant, que celui-ci en l'entraînant l'aurait courbé en forme de U. Toutes les lamelles formant la section sont repliées en demeurant parallèles. Seulement elles se sont brisées au sommet de la voûte, les bords de ces fractures correspondent exactement et s'emboîtent; l'espace entre les fissures est rempli par la masse fondamentale dont les bandes ondulent autour du cristal recourbé et brisé. Le fragment d'enstatite plus ou moins arrondi et strié représenté sur la même figure à gauche, près de celui qui vient d'être décrit, paraît être aussi un débris du grand cristal (1).

On doit constater ici que des sections présentant le même aspect se montrent bien souvent lorsqu'on examine au microscope des lames minces des schistes cristallins, et nous verrons à la fin de ce travail que bon nombre de péridotites doivent être classées dans cette catégorie de roches. Parmi les analogies que nous offre la structure microscopique des roches schisto-cristallines et celle de Saint-Paul, signalons aussi la forme ellipsoïdale des sections, leur alignement dans le sens des bandes de la masse fondamentale, la fracture et le ploie-ment des grands cristaux. La forme ellipsoïdale à contours vagues du péridot et de l'enstatite des roches de Saint-Paul, la disposition rubanée de la pâte rappellent à beaucoup d'égards la structure feuilletée des schistes cristallins avec leurs petits lits de substance phylla-

(1) On doit remarquer que bien souvent des cristaux macroscopiques de bronzite sont ondulés et courbés; ils affectent naturellement cette disposition. Dans les préparations des roches péridotiques de Grèce, décrites par Becke, et que j'ai eu l'occasion d'examiner, j'ai pu voir de beaux exemples de déformation analogue à celle que je signale ici. Becke admet pour les interpréter qu'elles ont été provoqués par des actions mécaniques.

deuse, qui renferment des grains ovoïdes de quartz et de feldspath alignés et souvent fracturés. Cette structure gneissique ne manque pas d'analogie d'aspect avec la texture zonaire de quelques obsidiennes. Ajoutons que bien souvent les roches schisto-cristallines renferment des cristaux repliés et courbés dans la masse qui les entoure. On en voit des exemples dans la tourmaline des chlorito-schistes, dans les feldspaths des porphyroïdes, et cependant personne ne voudrait expliquer ces derniers faits en les attribuant à l'action d'un magma en fusion. On ne doit pas attacher une importance exagérée à l'absence d'une base vitreuse dans la roche de Saint-Paul et tirer de là des arguments contre l'origine ignée. La présence d'une substance amorphe et isotrope n'est pas un criterium infaillible quant au mode de formation d'une roche, car on l'a découverte même dans des schistes. Les faits sur lesquels nous venons d'insister ne sont donc pas assez concluants pour faire reposer sur eux seuls un argument décisif relativement à l'origine de la roche. On devrait avoir plus de preuves pour trancher cette question sur laquelle nous reviendrons d'ailleurs (1).

(1) Au moment où j'étudiais cette roche de Saint-Paul, je communiquai par lettre les résultats de mon examen préliminaire au professeur Rosenbusch. Cette communication a paru dans le *Neues Jahrbuch für Min.*, 1879. Je m'y suis exprimé d'une manière bien positive sur l'existence de la structure fluidale dans la roche en question, et des lithologistes éminents auxquels j'avais soumis la préparation (fig. 5) dans laquelle je pensais que cette structure était bien marquée, n'hésitèrent pas à admettre cette interprétation. Si je parle aujourd'hui avec plus de réserve, c'est que les recherches récentes tendent de plus en plus à montrer que, dans la majorité des cas, les péridotites sont associées aux séries des roches schisto-cristallines avec lesquelles elles ont alors une origine commune.

Comme nous l'avons dit, la roche est en général peu altérée, quelques échantillons toutefois sont plus ou moins décomposés. Nous allons les décrire, ainsi que ceux imprégnés de phosphate de chaux.

Les échantillons les moins altérés sont gris verdâtre avec éclat vitreux. L'examen microscopique montre que la masse fondamentale est parfaitement granulaire. Le long des fissures capillaires, la cohésion diminue et un produit secondaire noirâtre se dépose entre les granules. Lorsque la décomposition est plus avancée les fissures s'élargissent ; on y découvre une substance serpentineuse, en partie isotrope, parsemée de grains noirs qui doivent se rapporter à la magnétite. Il n'est pas nécessaire de nous arrêter ici à cette altération du péridot en serpentine, qui a été si souvent étudiée par les micrographes.

Enfin les échantillons les plus décomposés ont pris l'aspect terreux, leur teinte est jaune verdâtre, ils sont traversés en tous sens par des lignes opaques noires avec éclat lustré. Ces échantillons sont tout à fait serpentinisés. Sur certains spécimens peu décomposés, on voit des veines noires qui remplissent les fissures, quelques autres ont les crevasses tapissées de phosphate de chaux. Souvent ces échantillons ont l'aspect bréchiforme ; quelques parties sont encore du péridot, mais la masse générale est déjà serpentinisée. Lorsque la décomposition est plus avancée des veinules noires ressortent en relief de la masse serpentineuse, et la roche prend un aspect cellulaire. Ces veines sont souvent recouvertes d'un enduit de phosphate de chaux mamelonné, qui pénètre aussi dans les fissures et dans les creux.

C'est à cette dernière substance que certains échantil-

lons doivent un aspect stalactitique ressemblant assez à ce que l'on observe pour certaines variétés de minerais de zinc ou certaines phosphorites. D'autres échantillons sont formés de fragments de serpentine cimentés par des veines de phosphate de calcium qui atteignent 5 ou 6 millimètres de largeur. Ces veines sont compactes; à l'œil nu ou mieux à la loupe on y distingue une structure concrétionnée; les formes plus ou moins circulaires qui se dessinent dans la substance offrent des bandes zonaires jaune ou rose-blanchâtre, rappelant l'aspect des agates rubanées. Entre ces concrétions on voit des cavités, qui donnent à la pierre une apparence qui a beaucoup d'analogie avec l'aspect des phthanites du calcaire carbonifère; dans ces derniers on sait que les cavités sont généralement dues à la disparition de fossiles calcaires.

Ces cavités et la compacité du grain ainsi que d'autres caractères macroscopiques, pourraient aisément faire prendre ces blocs pour des fragments de chert (1). Ils se décomposent en une poudre fine blanc-rosâtre.

Ce phosphate est d'aspect terreux faiblement résineux sur les surfaces fraîches, sa cassure subconchoïdale; sa dureté est supérieure à celle de la fluorine. Les éclats sont opaques, leurs bords seuls sont faiblement transparents. Des esquilles chauffées dans le tube décrépitent avec bruit. Ces caractères ajoutés aux points déjà mentionnés, montrent qu'il existe beaucoup de ressemblance entre la substance phosphatique de Saint-Paul et celle décrite par Shepard sous le nom de pyroclasite.

(1) Darwin fait bien probablement allusion à ce phosphate lorsqu'il écrit : « Certaines parties de la roche sont de nature siliceuse (*cherty nature*) » *loc. cit.*, p. 8.

Les particules de phosphate qui restent dans le tube noircissent et dégagent de l'eau en petite quantité. Les esquilles assez grandes pour être maintenues dans la pince blanchissent au chalumeau, les bords sont difficilement fusibles en émail blanc et la flamme se colore en jaune pâle. Fondu avec le borax, cette matière donne un verre incolore. Je n'y ai pas décelé de fluor.

Ce phosphate montre au microscope des caractères analogues à ceux que j'ai décrits pour la silice concrétionnée des phthanites du calcaire carbonifère; toutefois on ne voit jamais les phénomènes de la polarisation chromatique aussi intenses que pour le quartz du chert. La structure agatoïde est très bien marquée; les concrétions plus ou moins circulaires sont accolées ou fondues les unes dans les autres. Les zones externes sont brun foncé ou jaunâtre; au centre elles sont généralement incolores. Lorsque les concrétions circulaires se touchent, en laissant des vides entre elles, ces intervalles sont remplis d'une substance noirâtre. Quelques-unes sont fibro-radiées, et en lumière polarisée montrent la croix noire comme la calcédoine. Les zones concentriques sont formées par des lignes d'une délicatesse extrême qu'on ne distingue qu'à l'aide de forts grossissements. Les zones externes ne contiennent pas d'inclusions de matières étrangères, mais au centre on remarque une accumulation de filaments grisâtres enchevêtrés. Examinés sous de forts objectifs cette matière affecte une disposition dendritique ressemblant beaucoup à une structure végétale. Ces filaments résistent plus longtemps à l'action de l'acide chlorhydrique que la masse entourante. A la lumière réfléchie on voit aussi, au milieu des concrétions, des sections microscopiques

couleur gris d'acier, ressemblant à des enclaves de calcite. Des lignes plus larges brun jaunâtre intercalées entre les concrétions sont produites par les hydroxydes de fer et de manganèse.

On a soumis à l'analyse plusieurs des échantillons montrant les caractères d'altération dont il fut question plus haut, ou imprégnés de phosphate de calcium. En indiquant les résultats de ces analyses, je donnerai quelques remarques lithologiques sur chacun d'entre eux.

Le spécimen dont la composition est exprimée par l'analyse suivante est un fragment de péridotite dont une partie est altérée en serpentine. La masse fondamentale est traversée par des veines noires un peu en relief et plus dures que la masse entourante. Ces espèces de cloisons qui surplombent, sont revêtues de phosphate de chaux concrétionné. Le fragment analysé est un échantillon que nous considérons comme faiblement altéré.

III. (B).

	Perte au feu à 250° Fahr.	4,20
	Alumine	0,38
	Oxyde de fer	traces
	Phosphate de chaux	0,28
	Protoxyde de fer	8,01
Soluble dans HCl = 85,00	Sulfate de chaux	0,96
	Carbonate de chaux	0,47
	Magnésie	58,20
	Silice	56,70
	Alumine	fortes traces
	Oxyde de fer	1,92
Insoluble dans HCl = 10,80	Magnésie	0,28
	Silice	6,80
		<hr/> 100,00

L'analyse IV est celle d'une brèche formée dans une fissure de la péridotite. Cette brèche est composée de fragments de roche à olivine, qui ont de 2 à 3 c. de longueur, et de débris d'ossements très décomposés,

dont la structure organique est presque voilée. Dans cet échantillon, on voit quelques fragments qui ont l'air de cailloux roulés. Le caractère le plus saillant de ces blocs bréchiformes est la présence de fragments plus ou moins arrondis. Ils sont toutefois en leur lieu et place et ont été formés *in situ* dans les fissures, qui s'élargissant par décomposition, se sont remplies de matière serpentineuse et de phosphate de chaux unis à des noyaux plus ou moins arrondis de péridotite en voie de décomposition. Le phosphate est peu compacte, il s'égraine en une poudre blanchâtre. C'est ce phosphate plus ou moins impur qui a été analysé.

IV. (B).

Perte au feu à 250 Fahr.	4,40
Oxyde de fer	1,42
Phosphate de chaux	82,63
Protoxyde de fer	traces
Oxyde de manganèse	traces
Sulfate de chaux	4,76
Carbonate de chaux	4,86
Carbonate de magnésie	1,41
Résidu	0,50
	<hr/> 100,00

L'analyse V est celle d'une brèche d'un caractère particulier; on y remarque des fragments de coquilles et d'ossements de vertébrés, empâtés dans une masse terreuse grisâtre.

V. (B.)

Perte au feu à 250° Fahr.	4,90
Oxyde de fer	1,45
Phosphate de chaux	58,40
Protoxyde de fer	traces
Oxyde de manganèse	0,50
Sulfate de chaux	2,90
Carbonate de chaux	35,58
Magnésie	9,57
Silice	7,70
Résidu insoluble	1,40
	<hr/> 100,00

Les parois de cette brèche sont revêtues d'une croûte noire de 7 à 8 millimètres d'épaisseur, présentant les caractères minéralogiques du manganèse. Sir Wyville Thomson dans le *Voyage of the Challenger* (1) décrit une brèche semblable à celle dont on vient de voir l'analyse. « Chaque face de la crevasse, dit-il, est recouverte par un enduit noir d'une épaisseur d'un quart de pouce. » Moseley rappelle que Mac Cormick (2) avait déjà attiré l'attention sur cet enduit noir des fissures des roches de Saint-Paul. Sir Wyville ajoute que cette substance triturée est une poudre vert-grisâtre sale, faisant effervescence dans l'acide chlorhydrique dilué, laissant un résidu brunâtre insoluble; traitée avec l'acide chlorhydrique concentré elle dégage du chlore et colore l'acide comme le fait le protoxyde de manganèse. M. Buchanan (3) a trouvé en outre dans ces brèches avec enduits noirs, du phosphate et du carbonate de chaux, du carbonate de magnésie, des traces de cuivre et de fer; l'enduit dégage de l'eau dans le tube.

Quoique rien ne soit plus commun que des enduits de manganèse déposés par infiltration dans les crevasses de roches ou des conglomérats gisant même à la surface, comme on peut le constater dans les dépôts superficiels modernes; cependant avant l'expédition du Challenger on n'avait pas d'idée du rôle important que joue ce minéral dans les sédiments des grands océans actuels. Sans nous arrêter ici à la formation des nodules de manganèse, auxquels nous venons de faire allusion, disons

(1) Sir WYVILLE THOMSON, *Voyage of the Challenger*, vol. II. p. 106.

(2) MOSELEY, *A naturalist on the Challenger*; MAC CORMICK, *Voyage (Ross's) to the Antarctic and Southern Regions*, vol. I, p. 14-18.

(3) BUCHANAN, *Proc. Roy. Soc.*, vol. XXIV, n° 170, 1876, p. 615.

seulement que l'un des traits caractéristiques de cet hydroxyde est de former des dépôts concrétionnés dans les fissures des roches silicatées dont la décomposition a mis cette substance en liberté. J'ai pu constater au chalumeau des traces de manganèse dans des spécimens inaltérés de la péridotite de Saint-Paul.

L'analyse VI fut faite sur un fragment d'aspect scoriacé, ressemblant à une lave, mais qui n'est autre chose en réalité qu'un bloc de phosphate cellulaire. Le spécimen est recouvert de limonite. Les fragments de roche péridotique, enduits de phosphate, sont tellement altérés qu'on peut les rayer à l'ongle.

VI. (B).

Perte au feu à 250° Fahr.	5,23
Oxyde de fer	8,47
Phosphate de chaux	70,46
Oxyde de manganèse	traces
Sulfate de chaux	4,88
Carbonate de chaux	6,51
Magnésie	1,71
Silice	1,41
Résidu insoluble	1,50
	<hr/>
	100,00

Il reste à dire quelques mots sur l'émail blanchâtre qui donne au rocher situé au sud du groupe de Saint-Paul cette surface brillante décrite par Darwin. Il attribue la coloration de ces roches en partie aux excréments des oiseaux de mer qui viennent s'y réunir, en partie aussi à un vernis lisse qui recouvre toute la surface. Des échantillons examinés à la loupe lui firent voir que cet enduit est formé de lamelles très peu épaisses, qui se superposent pour former une couche, n'atteignant pas plus d'un dixième de ponce. Il rapporte cette substance au phos-

phate de chaux et il ajoute qu'elle renferme beaucoup de matière organique. Il mentionne à cette occasion, qu'il a découvert à l'île de l'Ascension et aux Abrolhos des matières ramifiées, qui doivent avoir été formées de la même manière (1). Darwin a montré des spécimens de ces incrustations à des géologues qui ont tous admis qu'elles avaient une origine volcanique. Sans nous arrêter à énumérer les opinions émises au sujet de cet enduit, ou à examiner les analogies de structure et de composition qui existent entre quelques substances minérales et les parties dures de certains organismes, remarquons que Darwin et M. Buchanan (2) considèrent ces incrustations comme étant dues à l'accumulation des excréments d'oiseaux, dont le résidu insoluble aurait été exposé pendant de longues périodes à l'action du soleil et des vagues. Cette matière s'est concrétionnée et la roche a été recouverte de cette espèce d'email.

Je considère que c'est l'interprétation qu'il faut donner à ce fait et elle doit s'appliquer non seulement à cet enduit, mais à tous les petits filons de phosphate formés dans les fissures de la roche de Saint-Paul. Je n'ai trouvé dans les échantillons qui me furent remis qu'un seul petit fragment recouvert de cette espèce d'email. Il possède un éclat vitreux et ressemble jusqu'à un certain point à la croûte de quelques scories artificielles. Mais on ne peut pas admettre qu'il a une origine ignée (3).

(1) DARWIN, *Voyage of the Beagle*, ch. I, p. 8.

(2) Sir WYVILLE THOMSON, *Voyage of the Challenger*, vol. II, pp. 107, 108.

(3) PHIPSON (*Journ. Chem. Soc.*, XXV, p. 277 et *Am. Journ. of Sc. and Arts*, XXXVI, p. 425), a donné le nom de sombrérite à une roche phosphatique, qui doit avoir de grandes analogies avec la substance que nous décrivons. Il envisage la sombrérite comme étant composée de

L'examen microscopique montre que l'enduit en question ne possède aucun des caractères des verres naturels ni de roches ou des minéraux fondus.

Il est incontestable que cette matière s'est formée par concrétionnement. Son aspect rappelle assez bien certains enduits d'hyalite ou d'autres silicates colloïdes ; mais elle n'a pas l'éclat brillant de l'hyalite, ni sa transparence. Darwin en a donné une description parfaitement exacte. Il dit qu'elle est composée de lamelles très fines, étalées à la surface de la roche, dont elle suit toutes les irrégularités et qu'elle recouvre de petits mamelons, à structure concentrique, rappelant les concrétions orbiculaires de silice (*Orbicules siliceux* de Brongnart). Elle s'applique et adhère parfaitement à la roche. Sauf la couleur blanche et l'éclat brillant tous les caractères sont les mêmes que ceux du phosphate de calcium décrit et analysé plus haut. Les caractères pyrognostiques sont les mêmes que pour la masse jaune-rose constituant les veines phosphatiques et les brèches. Leur structure microscopique est identique et l'analyse chimique prouve que cet enduit est du phosphate de chaux(1).

phosphate de chaux et d'alumine « Elle paraît un phosphate amorphe, gélatineux, qui a été soumis à l'action d'une haute température. » JULIEN (*Am. Journ. of Sc. and Arts*, p. 242) a démontré que les raisons invoquées par Phipson, pour établir l'espèce minérale sombrérite, ne sont pas fondées. Il a démontré que ce n'est pas autre chose qu'un calcaire moderne, formé au fond de la mer, renfermant un peu de guano, et qui, dans certain cas, contient de 75 à 90 % de phosphate de chaux et de 3 à 4 % de calcaire.

(1) PIGGOT (*Proc. Amer. Phil. Soc. Philad.*, VI, 189 : *Amer. Journ. Sc. and Arts*, 2^e sér., 1856, n^o 22) a décrit une matière pierreuse trouvée à Los Mongos, à l'entrée du golfe Maracaybo, et en d'autres endroits, le long de la côte de la mer des Antilles. A Los Mongos, cette matière forme un enduit très mince, recouvrant les dépôts de guano. Cet enduit atteint quelquefois un pouce d'épaisseur, ailleurs, il n'a souvent que quelques

J'ai détaché de la roche un petit fragment de cette matière incrustante pesant environ 0,0175 gramme, et je l'ai analysé. La quantité dont je pouvais disposer étant très minime je n'ai dosé que l'acide phosphorique = 33,61 % et la chaux = 50,51 %. J'ai décelé en outre du fer, de la magnésie et de l'acide sulfurique. La composition de cette matière est donc essentiellement le phosphate tribasique de calcium, uni avec du sulfate de chaux, peut-être aussi du carbonate de chaux, de la magnésie et du fer.

La description lithologique des roches de Saint-Paul étant terminée, il reste à nous demander maintenant si toutes les observations que nous venons de signaler sont suffisantes pour en faire découler des conclusions positives relativement au mode de formation de la roche.

Nous examinerons d'abord cette question au point de vue lithologique. C'est ce point de vue, en effet, qui nous fournit dans ce cas le plus d'arguments positifs pour la discussion. Nous devons avouer franchement, tout d'abord, que la constitution lithologique ne peut pas toujours à elle seule décider la question d'origine. On voit le doute s'augmenter à mesure que l'on découvre de nouveaux gisements de roches péridotiques ; presque chaque nouvelle trouvaille vient, jusqu'à un certain point, modifier les idées qu'on avait autrefois sur leur origine. Il nous paraît utile de jeter un rapide coup d'oeil sur les caractères des principales peridotites connues, et sur les interprétations auxquelles a donné lieu

millimètres. L'analyse, qu'en ont faite Higgin et Bickel, prouve que la substance est un phosphate de chaux et de magnésie. Je suis porté à croire que cette matière de Los Mongos est identique, quant au mode de formation, avec l'émail des récifs de Saint-Paul.

le mode de formation du minéral, qui en est l'élément essentiel (1).

On peut admettre d'une manière générale qu'on ne saurait élever d'objection *a priori* contre l'origine ignée pure et simple d'une roche péridotique. L'olivine appartient à cette classe de silicates magnésiens, qui cristallisent artificiellement avec grande facilité par fusion sèche, comme le démontrent les produits des hauts fourneaux et les expériences de Daubrée (2). L'origine ignée du péridot est démontrée encore par la présence de ce minéral dans les laves des volcans modernes et dans des roches anciennes auxquelles tous attribuent une formation pyrogène. On ne peut voir de plus bel exemple de ce fait que dans les fragments de verres volcaniques basiques, dragués par le Challenger dans l'océan Pacifique; ces lapilli renferment des squelettes de cristaux de péridot (3) avec enclaves de la base vitreuse et en si grand nombre que la roche pourrait dans certains cas être désignée sous le nom de

(1) Nous ne voulons pas affirmer ici que l'on peut dire d'une manière absolue que l'olivine est un minéral pyrogène, car on le trouve dans les calcaires cristallins, dans les talc-schistes et dans d'autres roches dont le mode de formation est encore objet à discussion et qui ne paraissent dans aucun cas devoir être considérées comme purement et simplement pyrogènes. A ce point de vue l'olivine est à peu près comme l'amphibole et le pyroxène. Quoiqu'on trouve généralement ces minéraux dans des roches volcaniques, il n'en est pas moins vrai, qu'on les rencontre aussi dans des masses minérales qui ne peuvent être considérées comme ayant une origine ignée.

(2) DAUBRÉE, *Comptes rendus*, t. LXIII; *Bull. soc. géol. de Fr.*, 2^e série, t. XXIII, 1866; *Rapport sur les progrès de la géologie, expérimentale*, 1867, p. 122.

(3) Ces cristaux sont identiques à ceux décrits par PENCK (*Studien über lockere vulkanische Auswürflinge*, *Zeitsch. d. d. geol. Gesell.*, 1878, p. 8); et par VAN WERVEKE (*Neues Jahrbuch für Min.*, etc., 1879, p. 484, 485).

péridotite; plus de la moitié de la masse étant composée d'olivine. Ces cristaux y sont tellement nombreux qu'ils voilent par leur accumulation la masse fondamentale.

Non seulement l'olivine en tant que minéral, s'observe dans des conditions, qui démontrent à l'évidence son origine ignée; mais le péridot en roche ou les péridotites elles-mêmes présentent des caractères incontestables d'éruptivité, à en juger par les recherches de savants de grande autorité. Von Hochstetter admet que la dunite (1) doit être rangée parmi les roches éruptives. D'après Bonney, des serpentines du *Lizard District* dérivées par décomposition des péridotites, sont in-

(1) La dunite à laquelle, il est fait allusion, fut découverte par F. von Hochstetter en 1839 (*Zeitschrift d. d. geol. Gesell.*, 1864, p. 347), près de Nelson, à la Nouvelle-Zélande. Cette roche y constitue un puissant massif dans la Dun Mountain, dont le sommet atteint 4,000 pieds. La dunite y est caissée dans une immense veine de serpentine de un à deux milles de longueur. Cette roche est exclusivement composée de péridot granulaire, couleur vert-grisâtre et possédant tous les caractères indiqués dans la description de la roche de Saint-Paul. Le fer chromé est aussi représenté dans la dunite, il s'y montre en assez grandes plages. Le professeur Hochstetter croit que l'éruption de cette péridotite remonte à la période mésozoïque. Comme on n'a pas, à ma connaissance, donné de détails microscopiques sur les lames minces taillées dans des spécimens types de cette roche, je dirai deux mots des caractères principaux qu'elle présente au microscope. Dans la préparation de dunite, que j'ai eu l'occasion d'étudier, grâce à l'obligeance de M. le professeur Maskelyne, on voit, à la lumière ordinaire, qu'elle est composée d'une masse homogène de péridot, dont les grains se détachent les uns des autres, lorsqu'on examine la plaque avec l'appareil de Nicol. Ces grains de péridot sont beaucoup plus gros que ceux formant la péridotite de Saint-Paul. A part cette différence, tous les caractères microscopiques sont les mêmes dans les deux roches, fissures plus ou moins régulières et marquées par des lignes noires, polarisation chromatique intense des sections d'olivine, rugosité de leur surface, etc., etc. Les sections de chromite sont plus grandes dans la dunite que dans la péridotite de Saint-Paul, mais à part cette différence la chromite des deux roches est identique.

trusives (1). Le même géologue, ayant étudié récemment les lherzolites de l'Ariège (2), admet qu'elles ont été épanchées au travers de calcaires cristallins. Les observations de Zirkel sur les roches péridotiques d'Islande doivent être signalées ici (3). Il fait remarquer, qu'alors que les basaltes et les anamésites de cette île, sont pauvres en olivine, on trouve cependant sur la côte nord, près de Melstadr, de Hnauser et de Hofsos des lits épais de roche intercalés dans la lave ; ces bancs sont presque exclusivement composés de péridot ; l'augite y est à peine représentée. Naumann (4) ajoute que ce fait tend à prouver que cette masse de roche péridotique fut éjaculée à l'état fluide et étalée à la manière des laves.

Une autre variété de roche où domine le péridot est celle désignée par Tschermak sous le nom de picrite ; il la découvrit en Moravie et dans la Silésie autrichienne, où elle apparaît dans le néocomien. Dans les picrites, le péridot forme à peu près la moitié de la masse, il est associé à la diallage, à la hornblende et au mica. Ces roches ont souvent l'habitus des gabbros. Non seulement leurs relations stratigraphiques indiquent une origine ignée ; mais l'étude de la microstructure conduit à la même conclusion. Dans les échantillons types recueillis par Tschermak on observe une base vitreuse. Quant aux paléopicrites (5) découvertes par Sandberger dans les formations anciennes, il ressort de ses recherches et de

(1) BONNEY, *On the serpentine and associated Rocks of the Lizard district*, Quart. Journ. geol. soc., vol., XXXIII, p. 884-924.

(2) BONNEY, *The Lherzolite of the Ariege*, Geol. Mag. Decade II, vol. IV, pp. 59-64.

(3) ZIRKEL und PREYER, *Reise nach Island*, p. 292.

(4) NAUMANN, *Lehrbuch der Geognosie*, vol. III, p. 565.

(5) Voir OEBBEKE, *Ein Beitrag zur Kenntniss des Palaeopikrits*, 1877.

celles de Gumbel qu'elles sont à leur tour éruptives. Parmi les expériences que l'on peut invoquer, pour prouver l'origine ignée des roches péridotiques, viennent se mettre en première ligne celles de Daubrée. Ce savant reproduisit artificiellement la lherzolite en fondant des météorites chondritiques ; prouvant ainsi d'une manière incontestable que la nature peut avoir suivi la même voie, pour produire les roches qui ont même composition minéralogique et même structure.

Tout en admettant que les roches qui viennent d'être mentionnées sont éruptives, il n'en reste pas moins vrai que certaines masses péridotiques offrent des caractères qui ne peuvent guère se concilier avec ce mode de formation (1).

Les raisons qui commandent cette restriction ressortiront d'elles-mêmes, par un résumé succinct des résultats obtenus par bon nombre d'observateurs, qui ont décrit les péridotites régulièrement interstratifiées dans diverses formations.

La première roche péridotique fut signalée par Lelièvre, en 1787 ; de la Métherie (2) la désigna sous le nom de lherzolite, et la considéra comme essentiellement formée de pyroxène ; Damour (3) montra, en 1862, qu'elle était composée pour les deux tiers de péridot.

(1) ROSENBUSCH, (*Massige Gesteine*, p. 526). Cet auteur a senti l'inconvénient de grouper ensemble toutes les péridotites ; il confesse qu'une analogie de composition ne permet pas toujours de conclure à une analogie d'origine. Il admet que l'origine ignée de beaucoup de péridotites n'est pas prouvée, et que pour cette raison il eut peut être mieux fait de ne pas traiter dans son livre sur les roches massives, de quelques péridotites interstratifiées régulièrement dans les schistes cristallins.

(2) DE LA MÉTHERIE, *Théorie de la Terre*, vol. II, p. 281.

(3) DAMOUR, *Bull. Soc. géol. de Fr.*, 2^e sér. vol. XIX, 1862. *Neues Jahrb.*, 1863, p. 95.

D'après Charpentier (1) et Marrot (2), cette roche est enclavée dans un calcaire liasique, qui devient cristallin au contact du granite. Les observations de Zirkel (3) sur la lherzolite laissent quelques doutes sur la question d'origine, Sandberger (4), au contraire, n'hésite pas à nier son origine éruptive. Des Cloizeaux (5) a relevé quelques lherzolites intercalées dans le calcaire silurien, aux Eaux-Bonnes (Basses-Pyrénées) et à Beyssac (Haute-Loire), où elles se trouvent dans le terrain granitique. La roche péridotique de Seefeld Alp, dans l'Ultenthal (6), au sud-est de Meran en Tyrol, est interstratifiée dans des schistes cristallins. Les péridotites découvertes par Sandberger (7), à Conradsreuth, près de Hof, sont comme celles d'Ultenthal, intercalées dans la série cristallophylienne. Tschermak (8) démontra ensuite que les péridotites de la région de Karlstätt et d'Aggsbach, dans le terrain granulitique de la Basse-Autriche, sont à leur tour interstratifiées dans des schistes cristallins. Kjerulf a découvert des péridotites en Norvège, et Pettersen (9) a démontré que des roches à olivine sont intercalées dans des couches appartenant au groupe des mica-schistes de Tromsø.

(1) CHARPENTIER, *Essai sur la constitution géologique des Pyrénées*, 1825, p. 245.

(2) *Annales des mines*, 2^e sér. vol. IV, 1828, p. 207.

(3) ZIRKEL, *Zeitschr. d. d. g. Gesell*, 1867, p. 156.

(4) Le travail de Bonney, cité plus haut, tend au contraire à prouver que cette roche est éruptive.

(5) DES CLOIZEAUX, *Bullet. Soc. géol. de Fr.*, vol XIX, p. 48.

(6) Les échantillons de la roche d'Ultenthal ressemblent beaucoup à ceux de la roche de Saint-Paul, sauf que le grain de celle-ci est plus fin.

(7) SANDBERGER, *Neues Jahrb. für Min. etc.*, 1866, p. 591.

(8) TSCHERMAK, *Sitzungsberichte der K. K. wien. Akad. der Wiss.* vol. LVI, 1867.

(9) PETTERSEN, *Neues Jahrb für Min*, 1876, p. 615.

Becke (1) ne considère pas les péridotites de Grèce comme éruptives. Gümbel, dans sa description géognostique du Fichtelgebirge (2), admet que les roches serpentineuses, intercalées dans les gneiss de cette région, sont des péridotites altérées. D'après Axel Erdmann (3) les eulysites, si semblables en tout à des péridotites gneissiques, se trouvent en Suède associées aux gneiss des environs de Tunaberg (4).

Un grand nombre des roches serpentineuses, découvertes ces dernières années, sont incontestablement dérivées des roches péridotiques. Ce fait montre combien ces dernières doivent avoir été fréquentes dans les formations schisto-cristallines. Les serpentines n'apportent

(1) BECKE, TSCHERMAK, *Min. Mitth.*, loc. cit.

(2) GÜMBEL, *Geognostische Beschreibung des Fichtelgebirges*, Gotha, 1879, p. 148.

(3) *Neues Jahrb. für Min.*, 1849, p. 857, et ZIRKEL, *Lehrbuch der Petrographie*, vol. II, p. 555.

(4) Il est important de signaler une communication de Brögger (*Neues Jahrb. für Miner.*, 1880, pp 187-192), dans laquelle il démontre l'existence de roches péridotiques schistoïdes, dans la région de Söndmøre (Voir aussi H. H. Reusch, *Das Grundgebirge im Südlichen Söndmøre und in einem Theile von Wordfiord, Kristiana*, 1877). Dans la même livraison du *Neues Jahrb. für Min.* E. Cohen donne un compte-rendu d'un travail de Törnebohm (*Mikroskopiska bergartes Studies, Geol. Fören, i. Stockholm, Förrhandl.*, Bd. III n° 9) Törnebohm y décrit la péridotite de Ketillsfjall. A juger d'après cette description, elle doit ressembler beaucoup à la roche de Saint-Paul; elle est intercalée régulièrement dans les quarzites et les mica-schistes, qui sont à la base dans cette région, et elle est recouverte en concordance par un mica-schiste granulaire, Cohen fait remarquer que cette disposition stratigraphique n'exclut pas la possibilité d'un filon couché (Lagergang); il ajoute toutefois que le nombre des péridotites offrant un caractère franchement éruptif semble se restreindre, à tel point qu'on peut se demander s'il en existe vraiment qui possèdent les caractères de masses éruptives. Après cette remarque, l'éditeur du journal ajoute une note, qui semble une revendication douteuse de l'origine éruptive des lherzolites : « Für die Lherzolithe dürfte der eruptive Character doch wohl nicht zweifelhaft sein! »

pas dans tous les cas la démonstration incontestable de la roche dont elles dérivent, mais il n'en est pas moins vrai qu'un grand nombre de lithologistes sont portés à admettre que la roche primitive était intercalée et non sous la forme de filon (1).

Alors même que des doutes pourraient être soulevés relativement à la structure et au mode d'origine de quelques péridotites, on doit admettre, après ce qui vient d'être dit, que souvent elles ne sont pas injectées. Ajoutons que le nombre des roches, réputées autrefois comme éruptives, paraît plutôt tendre à diminuer, et qu'elles sont souvent considérées aujourd'hui comme des intercalations régulières dans la série schisto-cristalline. Il est inopportun de discuter ici le problème tant agité du mode de formation des roches cristallophyllicennes; mais nous n'hésitons pas à dire que leur origine doit être bien différente de celle des roches éruptives.

On doit conclure des faits exposés que l'on peut admettre pour les péridotites deux modes d'origine; mais que cette question d'origine doit être plutôt tranchée par la manière d'être de la roche en relation avec celles auxquelles elle est associée, que par les données de composition et de structure, lorsque ces caractères n'offrent pas de particularités spéciales indiscutables d'où l'on peut déduire le mode de formation. En d'autres mots, la question stratigraphique joue ici incontestablement le rôle important. Malheureusement, dans le cas des roches de Saint-Paul, cet élément de discussion fait défaut, nous ignorons les rapports de la péridotite avec les roches avoisinantes. Ces récifs sont isolés au milieu

(1) A. Geikie a trouvé une série de belles roches serpentineuses schistoïdes, intercalées dans les calcaires et les schistes du nord de l'Écosse.

de l'océan et nous ne pouvons soupçonner les contacts.

Si nous mettons en présence les deux hypothèses que soulève la question de l'origine de ces roches et que nous pesons les probabilités de l'une ou de l'autre alternative, quelles sont les raisons qui plaident en faveur de l'origine éruptive ? D'abord la loi d'analogie. Nous savons en effet que toutes les petites îles océaniques sont coralliennes ou volcaniques. Les observations de Darwin, qui le premier a attiré l'attention sur cette loi, ont été confirmées de tout point par les naturalistes qui se sont livrés à l'étude de ces îles. Pourquoi les rochers de Saint-Paul feraient-ils exception à cette règle ? Cette péridotite ne peut-elle pas être assimilée aux roches cristallines représentées par les syénites, les diabases et les mélaphyres qui sont la base sur laquelle s'élèvent plusieurs des îles volcaniques de l'Atlantique ? (1) Nous savons que ces masses plutoniques, qui ne présentent cependant pas les caractères de régions continentales submergées, forment des rides sur lesquelles les produits volcaniques des îles de cette mer se sont étalées (2).

Un autre argument se présente en faveur de l'origine

(1) HARTUNG, *Geologische Beschreibung der Inseln Madeira und Porto Santo*, p. 173.

(2) COHEN, (*Ueber die sogenannte Hyperstenite von Palma*; *Neues Jahrb.*, 176, p. 747) décrit quelques roches de l'île de Palma, qui sont recouvertes ou traversées par des roches plus récentes. Il les envisage comme anté-tertiaires. Il n'y reconnaît pas d'hypersténite et il les classe dans les diabases, diabases péridotiques, diorites et syénites, etc. Van Werveke a décrit récemment une limburgite de la même île (*Neues Jahrb.*, 1879, p. 482). Enfin S. Calderon, dans un travail lu à la Société géologique de Londres, en juin 1879, distingue deux types de roches à Palma : l'un, plus ancien, caractérisé par la présence de la hornblende, l'autre, plus récent, où domine le pyroxène augite. Si la roche de Saint-Paul devait être rangée parmi les roches cristallines massives, tout porte à croire qu'elle appartiendrait au groupe ancien ou anté-tertiaire.

volcanique, lorsqu'on tient compte que le fond de l'océan Atlantique a été depuis des siècles en différents points le théâtre de manifestations volcaniques. La région dont les roches de Saint-Paul forment le centre, a été à une époque qui n'est pas bien éloignée le siège de phénomènes éruptifs. D'après Scrope (1), Daussy (2) et après lui Darwin (3) ont réuni un certain nombre de traditions qui paraissent indiquer l'existence d'une vaste région volcanique au centre de l'Atlantique entre le cap Palmas, sur la côte ouest d'Afrique, par lat. 4° N., long. 10°0 et St-Roque dans l'Amérique du Sud, par lat. 50°5, long. 37°37'0. Saint-Paul occuperait donc le centre de cette région volcanique.

L'isolement de ces roches pourrait être apporté à son tour comme preuve de leur origine éruptive. Les sondages entre Saint-Paul, les continents et les autres îles de l'Atlantique tendent à montrer que les récifs possèdent un caractère local en parfaite harmonie avec la théorie qui leur assignerait une origine volcanique (4).

Après avoir exposé les raisons qui pourraient militer en faveur de la première hypothèse, l'origine volcanique, résumons ce que l'on peut faire valoir pour appuyer l'interprétation qui rangerait cette péridotite dans la série schisto-cristalline. Puisque la première alternative n'est pas absolument concluante, la seconde peut être maintenue. Et, en effet, nous avons fait remarquer qu'un grand nombre de péridotites appartiennent aux roches cristallophylliennes et qu'on ne peut séparer

(1) SCROPE. *Volcanoes*, p. 237.

(2) DAUSSY, *Note sur l'existence probable d'un volcan sous-marin, situé par 0°20' lat. S. et 22° long. O. Comptes rendus*, 1858, avril, p. 512.

(3) DARWIN, *Geological observations ou volcanic Islands*, 1844, p. 92.

(4) Voir la note pp. 52 et 53.

leur mode de formation de celui des masses minérales avec lesquelles elles sont intimement associées. Dans la péridotite de Saint-Paul, la structure bandée, la disposition des cristaux dans la masse, leur forme, en un mot toutes les particularités sur lesquelles nous avons insisté plus haut, sont essentiellement les mêmes que dans les schistes cristallins. Si, après tout, cette manière de voir est la vraie comment doit-on se rendre compte de la présence de ce massif péridotique isolé au milieu de l'océan Atlantique ?

En supposant que ces récifs appartiennent aux roches schisto-cristallines on doit supposer nécessairement un soulèvement des couches. Les masses d'une épaisseur plus ou moins considérable, dans laquelle la péridotite était intercalée obéissant à un soulèvement, dont on voit tant d'exemples dans des roches analogues, se sont élevées au dessus du niveau de l'océan, elles auront été attaquées alors et désintégrées par l'action érosive des vagues ; les parties externes qui recouvraient la péridotite auront été démantelées, de manière à ne laisser du massif primitif que les récifs que nous voyons affleurer.

Il est important de ne pas perdre de vue le fait sur lequel nous avons insisté relativement à la résistance opposée à l'érosion par une roche aussi compacte que cette péridotite. Quoique les roches de ce type ont souvent subi une transformation en serpentine, il ne s'ensuit pas qu'elles sont aussi altérables qu'on l'a souvent dit, ou que leur résistance aux agents mécaniques n'est pas plus forte que celle qu'elles offrent aux actions chimiques.

Rien ne s'oppose à admettre, nous paraît-il, qu'autour du point occupé aujourd'hui par ces récifs il s'élevait autrefois une masse de roches anciennes, dont les

dimensions primitives doivent avoir été réduites dans le cours des temps par les agents physico-chimiques. Cette interprétation n'est pas en opposition avec l'histoire géologique de cette île, ni contraire à la nature de la roche, ni aux détails, d'ailleurs bien incomplets, que nous avons sur sa structure géologique. On pourrait citer à la surface des continents bien des exemples de modifications analogues.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que l'opinion qui tendrait à voir dans les rochers de Saint-Paul, un affleurement de roches anciennes, ne contredit pas celle qui assigne aux bassins océaniques une constance dans leurs traits principaux maintenue durant de longues périodes géologiques. Pour ce qui concerne l'existence, à des périodes assez rapprochées, d'une grande masse continentale au sein de l'Atlantique et à laquelle l'île de Saint-Paul aurait été reliée, on doit avouer que les sondages n'en dévoilent pas de trace positive et que ces récifs eux-mêmes ne montrent pas de preuves de subsidence. On n'y trouve pas, comme dans certaines îles de l'Atlantique, des formations sédimentaires lacustres, ou marines, qui indiquent une extension plus considérable des terres aux périodes géologiques antérieures. Enfin l'absence de faune et de flore sur ces rochers ne vient pas compliquer la question de problèmes biologiques, comme c'est le cas pour d'autres îles moins arides, que celle que nous décrivons.

On sait que Lyell (1) en réfutant l'opinion soutenue par plusieurs naturalistes et en particulier par Edward Forbes, que les Azores, l'île Madère et les Canaries sont

(1) LYELL, *Principles of Geology*, vol. II, p. 440.

les derniers restes d'une aire de terrain continue, qui reliait autrefois les îles et l'ouest de l'Europe et le nord de l'Afrique, fait ressortir les grandes dépressions qui existent entre ces diverses régions. « Ces dépressions, « dit-il, nécessitent un ensemble de modifications tellement considérable depuis la fin de l'époque miocène, « qu'il semble impossible de les admettre, si l'on tient « compte de ce que l'on sait sur la constance des continents et des bassins océaniques durant de longues « périodes géologiques. »

Il faut bien avouer que cet argument ne peut pas être appliqué dans toute sa rigueur à l'île de Saint-Paul, parce que la période de son éruption ou du soulèvement qui l'éleva au niveau de l'Atlantique nous est inconnue. Mais il existe, entre Saint-Paul et les terres voisines, des dépressions aussi grandes que celles mentionnées par Lyell et les sondages, en particulier ceux de *Challenger*, n'ont découvert nulle part aux approches de l'île des traces de submergence (1).

Octobre, 1880.

(1) Les sondages faits aux abords de l'île par le *Challenger*, sont de 104 brasses (station 109), 475 brasses (station 109 a), 500 brasses (station 1096), 780 brasses (station 109 c). A quelque distance des récifs, suivant une ligne tracée au nord de l'île, la profondeur atteint 1900 brasses (station 108), 1500 brasses (station 107), 1850 brasses (station 106) et à la station 105 la zone profonde de plus de 2000 brasses commence. En suivant une ligne de sondage au sud, les profondeurs sont bientôt très grandes, à la station 110, on atteint 2275 brasses. On voit donc qu'au nord de Saint-Paul le fond de la mer suit une pente graduelle, et l'atlas de Stieler, carte n° 12 (1880) indique une grande éminence sous-marine, s'abaissant vers le nord-est, et atteignant son point culminant aux rochers de Saint-Paul. Les sondages du *Challenger* dans cette région et les observations sur la température du fond, montrent que Saint-Paul est situé sur une ride sous marine, qui joint le « Dolphin Ridge » et le « Challenger

Ridge ». Ce chaînon est désigné sous le nom de « Connecting Ridge » : sa ligne de faite est à une profondeur qui ne dépasse pas 2000 brasses et il s'éloigne de l'île suivant l'orientation O.-N.-O. et E.-S.-E. La crique entre les deux plus grands îlots atteint de 3 à 10 brasses de profondeur. Lorsque le navire était attaché à l'un des rochers au nord du groupe, à 60 yards de la côte, la profondeur était de 104 brasses. Les récifs sont plus escarpés au nord-ouest et au sud-est qu'au sud-ouest. Lorsqu'on s'écarte dans les deux premières directions, on atteint la zone de 500 brasses à 1800 yards des rochers ; tandis que dans la direction sud-ouest cette même zone ne s'atteint qu'à 2 milles de distance. En venant de l'est vers Saint-Paul, par 3° 8' N., long. 14° 49' O., on peut constater que le fond de la mer forme un plateau, qui se suit sur 500 milles ; la profondeur du fond est de 2500 à 3000 brasses ; à 150 milles à l'est de Saint-Paul il remonte à 1500 brasses. Vient ensuite une dépression de 900 brasses, à une distance de 60 milles des rochers. A l'ouest et un peu vers le nord, environ à 3 milles, on sonde 1425 brasses. Les sondages entre Saint-Paul et Fernando Noronha indiquent une grande dépression de 2478 brasses.
